

## Kajian Mikrostruktur Aloi Aluminium A390 Selepas Pemesinan Kisar

(Microstructural Study of Aluminium Alloy A390 After Milling Process)

Kamal Othman\*

*Department of Production Technology, German Malaysian Institute, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia*

Jaharah A. Ghani & Che Hassan Che Haron

*Department of Mechanical and Materials Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Malaysia*

Afifah Juri

*Dept. of Precision Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Japan*

Mohd Shahir Kassim

*Fakulti Kejuruteraan Pembuatan, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Hang Tuah Jaya,  
76100, Durian Tunggal, Melaka, Malaysia*

### ABSTRAK

Aloi aluminium menjadi tumpuan dalam aplikasi komponen automotif disebabkan sifatnya yang ringan yang dapat membantu mengurangkan penggunaan bahan api. Umum mengetahui bahawa komponen ringan yang diperbuat daripada tuangan aloi aluminium lebih kos efektif berbanding penggunaan tuangan besi untuk blok enjin, dan piston. Antara aloi aluminium yang mendapat perhatian pengkaji adalah berasaskan aloi Al-Si seperti aloi penuangan acuan dengan 9.5 wt.% Si (383), aloi penuangan pasir dengan 18.5 wt.% Si (A390) dan semburan aloi dibentuk dengan 25 wt.% Si (Al-25Si). Aloi A390 adalah sesuai untuk menggantikan komponen tuangan besi kerana kandungan silikon yang tinggi ini dapat mengurangkan pengembangan haba, dan ciri-ciri kakisan yang baik. Artikel ini membentangkan pemerhatian yang dilakukan terhadap mikrostruktur aloi aluminium A390 di bawah permukaan yang telah dimesin kisar. Parameter pemotongan yang dikaji ialah laju pemotongan 250-350 m/min, kadar suapan 0.02-0.04 mm/gigi, dan lebar radius 12.5 mm-25 mm. Manakala kedalaman paksi dimalarkan pada 0.3 mm. Pemesinan kisar dilakukan dalam keadaan kering dan kriogenik. Pemerhatian terhadap mikrostruktur mendapati terdapat kesan pemanasan pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dalam keadaan pemotongan kering dengan mata alat yang telah haus. Manakala untuk parameter pemotongan yang lain tiada kesan pemanasan diperhatikan. Tiada sebarang perubahan mikrostruktur diperhatikan bagi julat parameter pemotongan yang dikaji. Ini menunjukkan, suhu pemotongan yang terjana adalah rendah dan tidak menyebabkan sebarang perubahan mikrostruktur bagi julat pemotongan kajian.

*Kata kunci: Aloi Aluminium A390; mikrostruktur; kesan pemanasan; proses kisar*

### ABSTRACT

Aluminium alloy has been receiving a lot of attention from the automotive industry due to its lightweight characteristic that can lead to a reduction in fuel consumption. It is a well-known fact that light components made from aluminium alloy are more cost effective when it comes to the manufacture of block engines and pistons than those made from steel. Among the aluminium alloy fabrications that have grabbed the attention of researchers are alloy mould casting with 9.5 wt.% Si (383), alloy sand casting with 18.5 wt.% Si (A390) and alloy spraying with 25 wt.% Si (Al-25Si). Alloy 390 is suitable for replacing metal cast components due to its higher silicon content, which can help to reduce heat expansion and has good corrosion characteristics. This research presents an observation of the microstructure of aluminium alloys after the machining process. The cutting parameters used were a cutting speed of 250-350 mm/min, feed rate of 0.02-0.04 mm/tooth, and radial width of cut of 12.5 mm-25 mm. while the depth of cut was kept constant at 0.3 mm. The machining process was carried out under dry and cryogenic conditions. The resultant observation of the microstructure showed the effects of the heat generated during the cutting process at a cutting speed of 350 m/min, feed rate of 0.02 mm/tooth and radial width of cut of 12.5 mm under dry conditions with a worn cutting tool, while for the other cutting parameters, no effects from the heat were observed. No changes in the microstructure were observed through the use of the stated cutting parameters. This showed that the temperature generated during the cutting process was low, and thus, did not cause any changes to the microstructure within the range of the studied cutting parameters.

*Keywords: Aluminium Alloy A390; microstructure; effect of heat; milling process*

## PENGENALAN

Proses pemesisan merupakan proses yang paling banyak digunakan dalam proses pembuatan, manakala logam dan aloi merupakan sebahagian besar bahan yang digunakan dalam proses ini. Li dan Liang (2005) mendapati peningkatan laju pemotongan membawa kepada peningkatan suhu pemotongan dan turun naiknya dalam satu putaran mata alat. Ia menyebabkan pemotongan tepi dengan kesan haba berkala yang besar dalam memotong bahan-bahan dengan kekonduksian haba yang rendah yang menyebabkan suhu pemotongan yang tinggi. Pada laju pemotongan yang rendah, suhu pemotongan iaitu suhu antara muka mata alat dan serpihan adalah agak rendah dan haus lelasan (*abrasion wear*) adalah dominan apabila keadaan tribologinya adalah gelongsor (Konishi et al. 1996). Manakala haus lekatan (*adhesion wear*) adalah disebabkan oleh penyingkiran bahan mata alat secara mekanikal. Bahan penyejuk dan pelincir dapat meningkatkan keupayaan proses pemesisan dan seterusnya meningkatkan produktiviti dengan mengurangkan penggunaan mata alat dan memanjangkan jangka hayat mata alat. Walau bagaimanapun, penggunaan bendalir pemotong dalam operasi pemotongan logam boleh merosakkan kualiti alam sekitar. Penghapusan penggunaan bendalir pemotongan, jika boleh, dapat menjadi satu insentif penting. Kos yang berkaitan dengan penggunaan bendalir pemotongan dianggarkan lebih berkali-kali daripada kos buruh dan overhead (Sreejith & Ngoi 2000).

Pemesinan kering dapat mengelakkan masalah pencemaran kerana tiada penggunaan bendalir pemotong, pelupusan, dan penapisan, tetapi menyebabkan masalah seperti berkemungkinan alat menjadi terlalu panas. Ini akan menyebabkan ketidakstabilan dalam saiz bahan kerja, perlu beroperasi pada laju pemotongan yang lebih rendah dan menyebabkan kadar pengeluaran yang rendah dan menyebabkan jangka hayat mata alat yang singkat. Sehubungan dengan itu, Goindi & Sakar (2017), juga berkata bahawa pemesisan secara kering adalah terhad pada pemesisan bahan yang mempunyai kekuatan yang rendah dan juga mempunyai pemesisan yang baik dalam pemesisan secara kisar, larik dan lubang yang kecil pada parameter pemesisan yang sederhana. Alo aluminium boleh dianggap sebagai bahan yang paling kritikal berkaitan dengan pemesisan kering. Oleh kerana kekonduksian terma mereka lebih tinggi, bahan kerja menyerap haba yang agak besar daripada proses pemesisan dan boleh menyebabkan kecacatan yang disebabkan oleh keupayaan pengembangan haba tinggi (Sreejith dan Ngoi 2000).

Pengeluar mata alat pemotongan telah membangunkan gred mata alat karbida tidak bersalut dan bersalut yang boleh digunakan dalam pemesisan kering. Kesukaran utama dalam pemesisan aloi aluminium menggunakan karbida tidak bersalut terletak pada pembentukan kelebihan pasang siap (BUE) pada permukaan mata alat (Gangopadhyay et al. 2010), ini disebabkan oleh suhu yang tinggi semasa pemesisan memudahkan aluminium lekat ke mata alat pemotong. Alat pemotongan bersalut yang sedia ada untuk pemotongan kering adalah bertujuan meningkatkan kekerasan

mereka, menghalang bahan alat tersebut didedahkan dan mengurangkan pekali geseran (Rivero et al. 2006 & Shokrani et al. 2012) dan ini dapat memanjangkan hayat mata alat pemotong. Sehingga kini, pemesisan kering kekal satu cabaran bagi dunia industri terutamanya dalam bidang kejuruteraan aeroangkasa (Nouari et al. 2003). Beberapa kajian terhadap pemesisan kering aloi aluminium menggunakan mata alat karbida telah dilaksanakan antaranya, Nouari et al. (2005) mendapati haus mata alat adalah disebabkan oleh lekatan dan resapan dalam pemesisan kering aloi aluminium. Manakala, Calatoru et al. (2008) mendapati pembentukan lapisan lekatan dan pinggir terbina telah memberi kesan kepada kualiti permukaan yang dihasilkan dalam pemesisan kering aloi aluminium penggunaan mata alat karbida.

Aloi aluminium menjadi tumpuan dalam aplikasi komponen automotif disebabkan sifatnya yang ringan dapat membantu untuk mengurangkan penggunaan bahan api. Umum mengetahui bahawa komponen ringan yang diperbuat daripada tuangan aloi aluminium lebih kos efektif berbanding penggunaan tuangan besi untuk blok enjin, dan piston. Antara aloi aluminium yang mendapat perhatian pengkaji adalah berasaskan aloi Al-Si seperti aloi penuangan acuan dengan 9.5 wt.% Si (383), aloi penuangan pasir dengan 18.5 wt.% Si (A390) dan semburan aloi dibentuk dengan 25 wt.% Si (Al-25Si) (Elmadagli et al. 2007). Walaubagaimanapun, penggunaan hyperutektik Al-Si untuk kegunaan blok enjin agak terhad kerana proses pemesisan yang amat sukar disebabkan kewujudan elemen silikon yang tinggi. Tetapi, aloi A390 adalah sesuai untuk menggantikan komponen tuangan besi kerana kandungan silikon yang tinggi ini dapat mengurangkan pengembangan haba, dan ciri-ciri kakisan yang baik (Konishi et al. 1996). Terdapat beberapa kajian telah dilakukan terhadap aluminium aloi A390, kajian daripada Cui et al. (2015) menunjukkan bahawa dengan menambah  $VB_2$  dalam bahan aluminium aloi A390, sifat mekanikal bahan tersebut meningkat. Dapatan kajian mendapati dengan penambahan  $VB_2$  sebanyak 1%, bahan tersebut dapat menunjukkan prestasi yang paling terbaik. Jika dibandingkan dengan A390 Alo yang biasa, dengan penambahan  $VB_2$ , pekali pengembangan haba adalah  $13.2 \times 10^{-6} K^{-1}$ , iaitu penurunan sebanyak 12.6%, kekerasan Brinell boleh mencapai sebanyak 156.5 HB, penurunan haus berat sebanyak 28.9% dan kekuatan tegangan muktamad pada 25°C (UTS<sub>25°C</sub>) boleh mencapai 355 MPa, iaitu kenaikan sebanyak 36.5%.

Bagi menjalani proses pemesisan yang cekap terhadap aluminium aloi, ianya adalah penting untuk mengetahui sifat-sifat bahan tersebut dari segi suhu terjana semasa pemesisan dilakukan. Kajian yang dilakukan oleh Kishawy et al. (2005), telah menemui bahawa suhu yang terjana semasa proses pemesisan aluminium aloi adalah rendah disebabkan oleh ciri bahan tersebut yang mempunyai takat lebur yang rendah. Disebabkan itu, suhu yang terjana tidak boleh mengubah sifat mekanikal bahan atau menyebabkan kadar mata alat haus dengan cepat. Walau bagaimanapun, jikalau suhu yang terjana melebihi satu had maka ia akan menyebabkan berlakunya perubahan mikrostruktur (Kelly & Cotterell 2002).

Istilah kriogenik merujuk kepada sains iaitu suhu yang sangat rendah (Wang & Rajurkar 2000). Cecair nitrogen adalah elemen yang paling biasa digunakan dalam kriogenik dan ia dihasilkan dalam industri iaitu penyulingan berperingkat mengenai udara cecair dan sering dirujuk oleh singkatan, LN2 (Yildiz & Nalbant 2008) kerana ia adalah mesra alam dan gas yang tiada toksik. Ia juga menyumbang kepada kemampunan pemprosesan terutamanya dalam proses pemesinan (Jayal et al. 2010). Dengan menggunakan cecair nitrogen LN2 dari muka sadak atau muka rusuk alat pemotongan semasa proses pemotongan dikenali sebagai pemesinan kriogenik. Walau bagaimanapun, ia perlu diambil perhatian bahawa kedudukan muncung untuk menyampaikan LN2 boleh diubah bergantung kepada proses pemotongan dan kadar penyejukan kepada bahan kerja dan alat memotong. Menurut Debnath et al. (2014) dengan penggunaan penyejukan kriogenik, ia dapat mengurangkan daya pemotongan semasa pemesinan dijalankan. Ini disebabkan keupayaan cecair kriogenik yang dapat mengurangkan pekali geseran yang terhasil pada muka di antara mata alat dan serpihan pada muka meraih (*rake face*).

Pemesinan kriogenik dilaporkan sebagai satu proses yang digalakkan untuk meningkatkan kualiti permukaan bagi pelbagai bahan. Wang & Rajurkar (2000) melaporkan bahawa dalam pemesinan terdapat pelbagai bahan seperti Ti-6Al-4V, Inconel 718 dan Tantalum. Pemesinan kriogenik dapat mengurangkan kekasaran permukaan berbanding dengan pemesinan kering. Secara keseluruhannya, peningkatan kualiti permukaan dengan pemesinan kriogenik adalah disebabkan oleh perkara-perkara seperti pemesinan kriogenik mengurangkan haus mata alat berbanding dengan pemesinan kering bahan keras yang dipotong. Selain itu, penyejukan kriogenik mengurangkan kesan suhu yang mengakibatkan pengurangan gangguan haba pada permukaan yang telah dimesin (Kaynak et al. 2014). Klocke et al. (2013) melaporkan bahawa haus mata alat dikurangkan dengan pemesinan kriogenik dengan mengurangkan pengerasan terikan (*strain-hardening*) bahan kerja yang telah dimesin. Selain itu, berikutan dengan suhu yang rendah, sempadan permukaan kasar bertindak sebagai halangan yang kuat kepada gerakan kehelan (*dislocation*) (Meyers & Chawla 2009). Kajian terhadap perubahan mikrostruktur aluminium aloi dalam keadaan kriogenik dapat dilihat daripada kajian oleh Bouzada et al. (2012). Mereka dapati bahawa dengan menggunakan teknik dalam kriogenik pada 98 K dapat mengubah mikrostruktur aluminium aloi yang telah mengalami rawatan haba.

Kelebihan pemesinan kering dan kriogenik termasuklah tiada pencemaran atmosfera atau air. Tambahan pula, kos pelupusan dan pembersihan sisa dan serpihan dikurangkan, tiada bahaya kepada kesihatan dan tiada bahan sisa pelincir dan penyejuk yang memudaratkan kulit dan alahan (Sreejith & Ngoi 2000). Tambahan pula, penyejuk dan pelincir digunakan untuk pemesinan yang mewakili antara 16-20% daripada kos pengeluaran. Kertas ini adalah mengenai kajian kesan parameter pemesinan terhadap mikrostruktur aloi aluminium A390 pada keadaan pemotongan kering dan

kriogenik pada laju pemotongan yang sederhana tinggi untuk aloi aluminium.

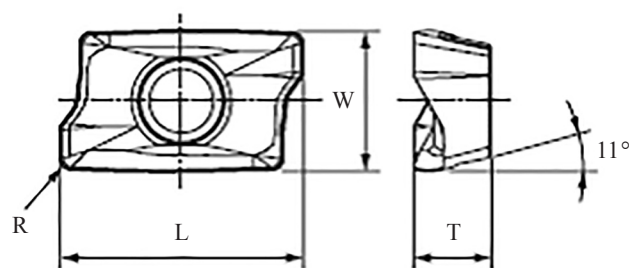
#### METODOLOGI KAJIAN

Aloi aluminium A390 yang digunakan dalam kajian merupakan aloi aluminium hiperutektik tuang. Aloi aluminium ini mempunyai ciri-ciri mekanikal yang baik dengan kandungan silikon yang tinggi iaitu 16-18% Si. Komposisi A390 ditunjukkan dalam Jadual 1.

JADUAL 1. Komposisi mengenai aloi aluminium A390

| Komposisi aloi aluminium A390 (%) |       |      |      |      |      |
|-----------------------------------|-------|------|------|------|------|
| Al                                | Si    | Cu   | Mg   | Fe   | Mn   |
| balance                           | 16.64 | 4.36 | 0.55 | 0.25 | 0.04 |

Uji kaji pengisaran dijalankan dengan menggunakan mesin kawalan computer berangka (CNC) kisar menegak CNC jenis Spinner model VC450 dalam keadaan kering dan kriogenik. Mata alat karbida dengan salutan *DLC* (*diamond like carbon*) dan permotong berdiameter 50 mm digunakan dalam kajian ini. Geometri mata alat terperinci ditunjukkan dalam Rajah 1. Parameter teknikal sisipan karbida dengan salutan *DLC* ditunjukkan dalam Jadual 2.



RAJAH 1. Geometri mata alat karbida dengan salutan *DLC*

JADUAL 2. Parameter teknikal sisipan karbida dengan salutan *DLC*

| Rake angle | L     | W    | T       | R      | Clearance angle |
|------------|-------|------|---------|--------|-----------------|
| +25°       | 15 mm | 7 mm | 3.58 mm | 0.2 mm | 11°             |

Jadual 3 menunjuk parameter pemesinan yang digunakan untuk eksperimen pemesinan. Namun bagi tujuan kajian terperinci mikrostruktur, hanya empat sampel (dua keadaan kering dan dua keadaan kriogenik) dipilih seperti yang ditandakan\* dalam Jadual 3.

#### PENYEDIAAN SAMPEL METALOGRAFI

Sebelum pemerhatian di bawah mikroskop optik dilakukan bagi melihat sebarang perubahan mikrostruktur, penyediaan sampel dilakukan dengan memotong sampel  $3 \times 10 \times 15$



JADUAL 3. Parameter yang digunakan dalam uji kaji bagi keadaan pemotongan kering dan kriogenik

| No. | Vc (m/min) | Fz (mm/gigi) | Ar (mm) | Ae, (mm) |
|-----|------------|--------------|---------|----------|
| 1   | 250        | 0.02         | 12.5    | 0.3      |
| 2   | 250        | 0.02         | 25      | 0.3      |
| 3   | 250        | 0.04         | 25      | 0.3      |
| 4*  | 350        | 0.02         | 12.5    | 0.3      |
| 5   | 350        | 0.02         | 25      | 0.3      |
| 6   | 350        | 0.04         | 12.5    | 0.3      |
| 7   | 350        | 0.04         | 25      | 0.3      |
| 8*  | 250        | 0.04         | 12.5    | 0.3      |

mm menggunakan mesin nyahcas elektrik (EDM). Sampel kemudian dicagak menggunakan pencagak panas, dicanai menggunakan kertas pasir pelbagai saiz grit (400-1200 SiC) dan dan akhir sekali digilap dengan kromium oksida dan pes berlian (1 $\mu$ m) sehingga permukaan sampel yang kelihatan seperti cermin. Permukaan sampel yang kelihatan seperti cermin di bawah mikroskop optic kemudiannya dipunar menggunakan larutan *Keller 1* yang mengandungi 190 ml air suling, 5 ml asid nitrik, 3 ml asid hidroklorik dan 2 ml asid hidroflorik selama 35-40 saat. Selepas dipunar, sampel diperhatikan di bawah mikroskop optic model Olympus SZ61. Tujuan punaran dilakukan ialah untuk melihat sempadan bijian yang berada pada sampel.

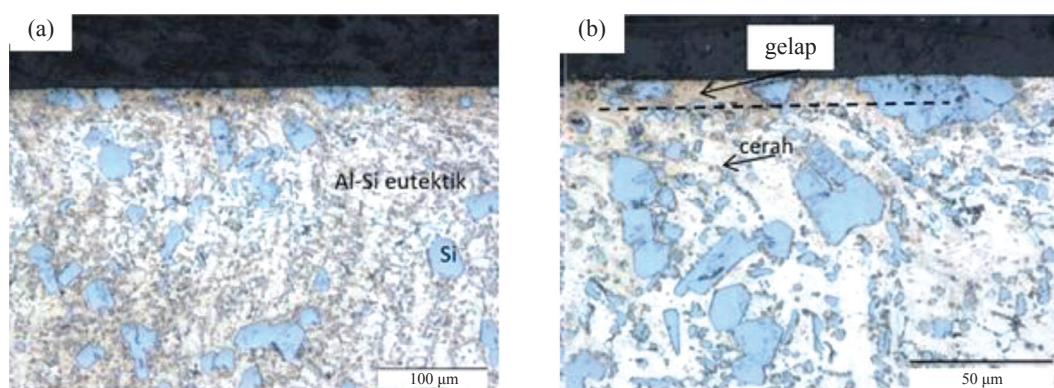
#### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

##### MIKROSTRUKTUR DI BAWAH PERMUKAAN MESIN ALOI ALUMINIUM A390

Pemerhatian sama ada terdapat sebarang perubahan mikrostruktur pada sampel yang dipilih bagi kedua-dua

keadaan kering dan kriogenik, dan juga pada keadaan mata alat baru dan haus dilakukan. Dalam kajian ini juga terdapat 4 sampel bagi keadaan kering dan 4 sampel bagi keadaan kriogenik seperti yang diterangkan dalam topik sebelumnya. Bagi semua sampel yang diteliti secara terperinci didapati mikrostrukturnya adalah hampir serupa iaitu mengandungi zarah silikon dan eutektik Al-Si iaitu mikrostruktur seperti yang biasa didapati oleh pengeluar aloi aluminium silikon hiperutektik (iFoundaryman 2017). Tiada perubahan mikrostruktur yang dilihat pada semua sampel dalam kajian ini. Ini menunjukkan suhu yang terjana semasa proses kisar tersebut masih rendah iaitu tidak menyebabkan sebarang perubahan mikrostruktur. Rachmat et al. (1998) dalam kajian mereka mendapati pada pemanasan suhu 550°C-575°C akan menyebabkan evolusi mikrostruktur dalam terikan dan seterusnya menyebabkan perubahan mikrostruktur yang ketara bagi aloi aluminium A390. Li et al. (2013) juga mengkaji kesan rawatan haba terhadap aloi aluminium A390 dengan memanaskannya sehingga 500°C menyebabkan eutektik silikon mengalami pemecahan dan pembutiran (*spheroidization*).

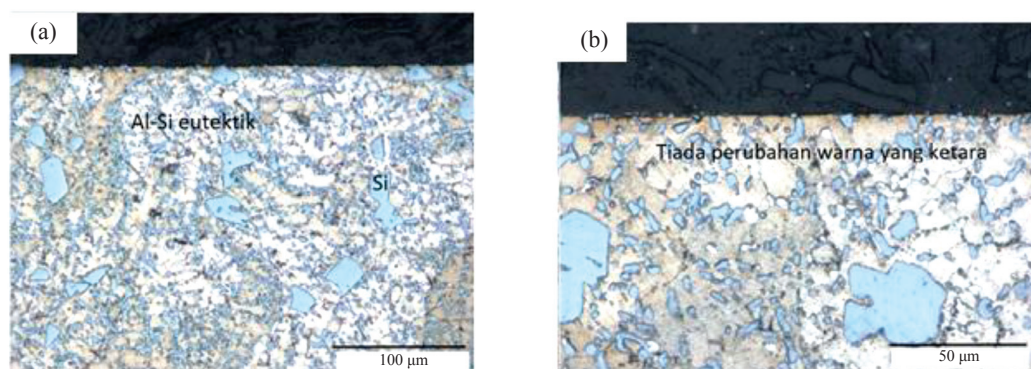
Rajah 2 (a) dan (b) menunjukkan mikrostruktur di bawah permukaan yang dimesin menggunakan mata alat yang haus pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kering. Seperti yang dijelaskan sebelum ini, mikrostrukturnya seperti tuangan asal di bawah permukaan yang dimesin, jelas kelihatan zarah Si dan Al-Si eutektik, tetapi terdapat perubahan warna yang agak gelap seperti yang ditunjukkan dengan anak panah disebabkan oleh pemanasan mikrostruktur semasa proses pemotongan seperti yang dinyatakan oleh Hatch (1984). Keadaan ini berlaku disebabkan oleh Fe<sub>3</sub>SiAl<sub>2</sub> (cerah) telah bertukar kepada FeAl<sub>3</sub> (gelap).



RAJAH 2. (a) pada pembesaran 100  $\mu$ m, dan (b) pada pembesaran 50  $\mu$ m untuk sampel pada keadaan pemotongan menggunakan mata alat yang haus pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kering.

Rajah 3 (a) dan (b) menunjukkan mikrostruktur di bawah permukaan yang dimesin menggunakan mata alat yang baru pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kering. Penggunaan mata

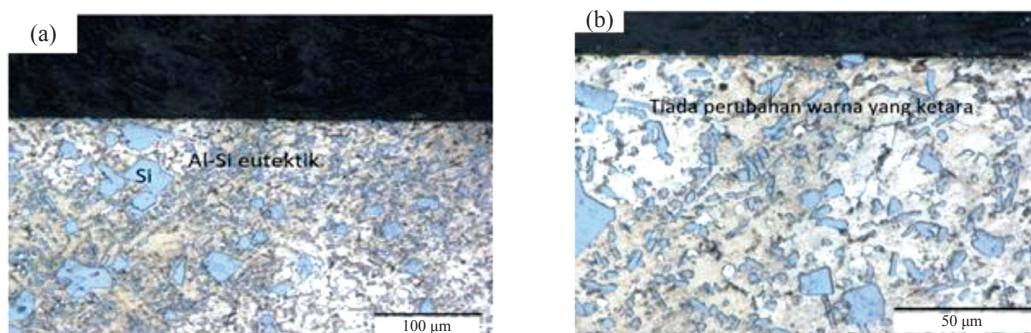
alat yang masih tajam menunjukkan tiada peningkatan suhu yang boleh menyebabkan perubahan warna mikrostruktur kepada aloi aluminium A390 pada parameter pemotongan yang digunakan.



RAJAH 3. (a) pada pembesaran 100 μm, dan (b) pada pembesaran 50 μm untuk sampel pada keadaan pemotongan menggunakan mata alat yang baru pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kering.

Rajah 4 (a) dan (b) menunjukkan mikrostruktur di bawah permukaan yang dimesin menggunakan mata alat yang haus pada laju pemotongan 250 m/min, kadar suapan 0.04 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam

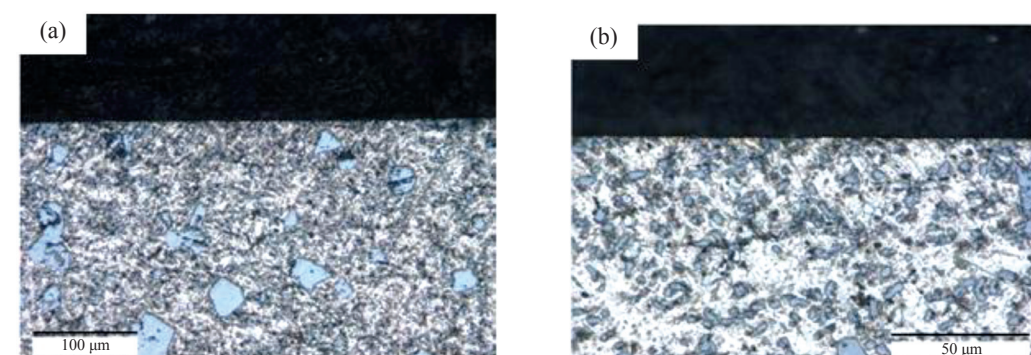
keadaan pemotongan kering. Walaupun mata alat telah haus namun penggunaannya tidak menjana suhu pemotongan yang tinggi pada parameter yang digunakan.



RAJAH 4. (a) pada pembesaran 100 μm, dan (b) pada pembesaran 50 μm untuk sampel pada keadaan pemotongan menggunakan mata alat yang haus pada laju pemotongan 250 m/min, kadar suapan 0.04 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kering.

Rajah 5 (a) dan (b) menunjukkan mikrostruktur di bawah permukaan yang dimesin menggunakan mata alat yang haus pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kriogenik. Keadaan kriogenik telah

mengurangkan suhu yang dijana berbanding dengan keadaan kering dan kesan pemanasan tidak dilihat berbanding dengan pemerhatian pada Rajah 2 (b) untuk parameter pemesinan yang sama.

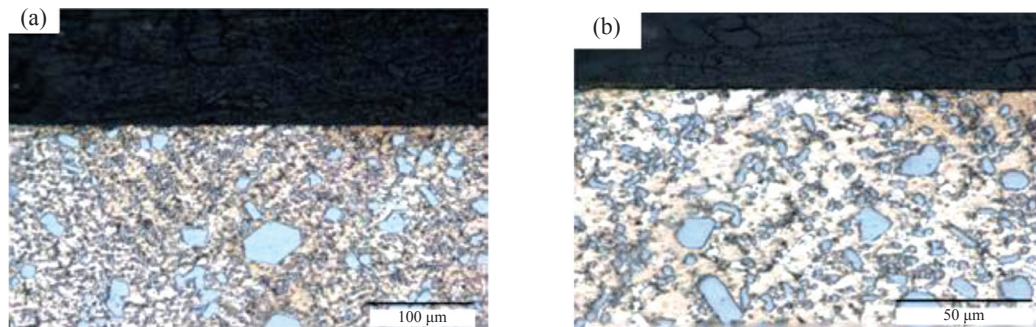


RAJAH 5. (a) pada pembesaran 100 μm, dan (b) pada pembesaran 50 μm untuk sampel pada keadaan pemotongan menggunakan mata alat yang haus pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kriogenik.



Rajah 6 (a) dan (b) menunjukkan mikrostruktur di bawah permukaan yang dimesin menggunakan mata alat yang baru pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kriogenik. Sama seperti

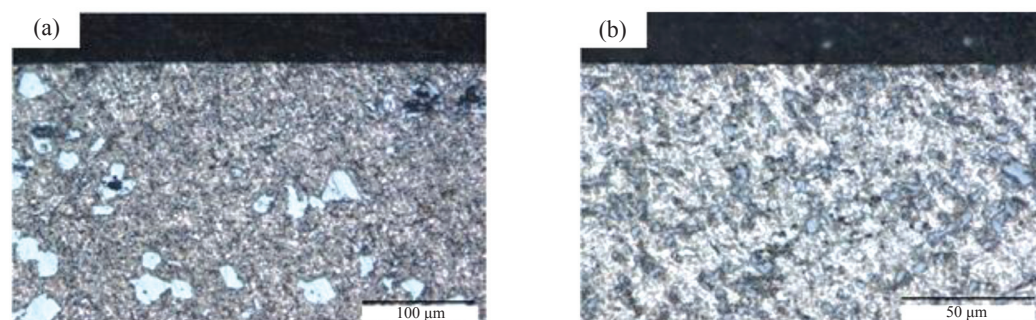
yang diperhatikan pada Rajah 5, mata alat baru juga tidak menyebabkan sebarang perubahan mikrostruktur dan kesan pemanasan pada parameter pemotongan ini dalam keadaan kriogenik.



RAJAH 6. (a) pada pembesaran 100 µm, dan (b) pada pembesaran 50 µm untuk sampel pada keadaan pemotongan menggunakan mata alat yang baru pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kriogenik.

Rajah 7 (a) dan (b) menunjukkan mikrostruktur di bawah permukaan yang dimesin menggunakan mata alat yang haus pada laju pemotongan 250 m/min, kadar suapan 0.04 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kriogenik. Pemerhatian yang sama

juga diperhatikan pada laju pemotongan yang lebih rendah di mana tiada sebarang perubahan mikrostruktur dan kesan pemanasan pada parameter pemotongan ini dalam keadaan kriogenik dengan mata alat yang telah haus.



RAJAH 7. (a) pada pembesaran 100 µm, dan (b) pada pembesaran 50 µm untuk sampel pada keadaan pemotongan menggunakan mata alat yang haus pada laju pemotongan 250 m/min, kadar suapan 0.04 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kriogenik.

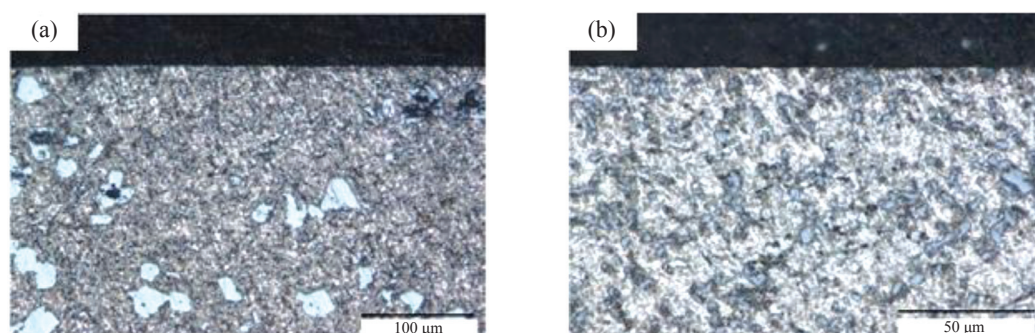
Rajah 8 (a) dan (b) menunjukkan mikrostruktur di bawah permukaan yang dimesin menggunakan mata alat yang baru pada laju pemotongan 250 m/min, kadar suapan 0.04 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kriogenik. Pemerhatian yang sama juga diperhatikan apada laju pemotongan yang lebih rendah di mana tiada sebarang perubahan mikrostruktur dan kesan pemanasan pada parameter pemotongan ini dalam keadaan kriogenik dengan mata alat yang masih baru.

350 m/min, kadar suapan 0.02-0.04 mm/gigi, dan lebar radius 12.5 mm-25 mm dengan kedalaman paksi dimalarkan pada 0.3 mm dalam keadaan kering dan kriogenik mendapati:

1. Terdapat kesan pemanasan pada laju pemotongan 350 m/min, kadar suapan 0.02 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dalam keadaan pemotongan kering dengan mata alat yang telah haus.
2. Manakala untuk parameter pemotongan yang lain tiada kesan pemanasan diperhatikan dan tiada sebarang perubahan mikrostruktur diperhatikan bagi julat parameter pemotongan yang dikaji.
3. Ini menunjukkan, suhu pemotongan yang terjana adalah rendah dan tidak menyebabkan sebarang perubahan mikrostruktur bagi julat pemotongan kajian.

#### KESIMPULAN

Pemerhatian yang dilakukan terhadap mikrostruktur aloi aluminium A390 di bawah permukaan yang telah dimesin kisar bagi parameter pemotongan iaitu laju pemotongan 250-



RAJAH 8. (a) pada pembesaran 100  $\mu\text{m}$ , dan (b) pada pembesaran 50  $\mu\text{m}$  untuk sampel pada keadaan pemotongan menggunakan mata alat yang baru pada laju pemotongan 250 m/min, kadar suapan 0.04 mm/gigi, lebar jejari 12.5 mm dan kedalaman paksi 0.3 mm dalam keadaan pemotongan kriogenik.

#### PENGHARGAAN

Projek ini ditaja oleh Kerajaan Malaysia dan Universiti Kebangsaan Malaysia di bawah geran-geran FRGS/1/2016/TK03/UKM/01/1 dan GUP-2017-048.

#### RUJUKAN

- Bouzada, F., Cabeza, M., Merino, P. & Trillo, S. 2012. Effect of deep cryogenic treatment on the microstructure of an aerospace aluminum alloy. *Advanced Materials Research* 445: 965-970.
- Calatoru, V.D., Balazinski, M., Mayer, J.R.R., Paris, H. & L'espérance, G. 2008. Diffusion wear mechanism during high-speed machining of 7475-t7351 aluminum alloy with carbide end mills. *Wear* 265(11-12): 1793-1800.
- Cui, X., Wu, Y., & Liu, X. 2015. Microstructural characterization and mechanical properties of VB<sub>2</sub>/A390 Composite Alloy. *Journal of Materials Science & Technology* 31(10): 1027-1033.
- Debnath, S., Reddy, M.M. & Yi, Q.S. 2014. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review. *Journal of Cleaner Production* 83: 33-47.
- Elmadagli, M., Perry, T. & Alpas, A. 2007. A parametric study of the relationship between microstructure and wear resistance of Al-Si alloys. *Wear* 262(1): 79-92.
- Gangopadhyay, S., Limido, J., Mabru, C. & Chieragatti, R. 2010. Effect of cutting speed and surface chemistry of cutting tools on the formation of BUL or BUE and surface quality of the generated surface in dry turning of AA6005 aluminium alloy. *Mach. Sci. Technol.* 14: 208-223.
- Goindi, G.S. & Sarkar, P. 2017. Dry machining: A step towards sustainable machining – Challenges and future directions. *Journal of Cleaner Production* 165: 1557-1571.
- Hatch, J.E. 1984. *Aluminium: Properties and Physical Metallurgy*, ASM International.
- IFoundryman. 2017. Aluminium Casting. <http://www.ifoundryman.com/aluminiumcasting/microstructure-of-hypereutectic-aluminium-silicon-alloy/> [15 Ogos 2017]
- Jayal, A.D., Badurdeen, F., Dillon Jr, O.W. & Jawahir, I.S. 2010. Sustainable manufacturing: modeling and optimization challenges at the product, process and system levels. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2(3): 144-152.
- Kaynak, Y., Lu, T. & Jawahir, I. 2014. Cryogenic Machining-Induced Surface Integrity: A Review and Comparison with Dry, MQL, and Flood-Cooled Machining. *Machining Science and Technology* 18(2): 149-198.
- Kishawy, H.A., Dumitrescu, M., Ng, E.G. & Elbestawi, M.A. 2005. Effect of coolant strategy on tool performance, chip morphology and surface quality during high-speed machining of A356 aluminum alloy. *Int J Mach Tools Manuf* 45(2): 219-227.
- Kelly, J.F. & Cotterell, M.G. 2002. Minimal lubrication machining of aluminium alloys. *J Mater Process Technol* 120(13): 327-334.
- Klocke, F., Lung, D., Arft, M., Priarone, P.C. & Settineri, L. 2013. On high-speed turning of a third-generation gamma titanium aluminide. 2013. On high-speed turning of a third-generation gamma titanium aluminide. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 65(1-4): 155-163.
- Konishi, T., Klaus, E. & Duda, J. 1996. Wear characteristics of aluminum-silicon alloy under lubricated sliding conditions. *Tribology transactions* 39(4): 811-818.
- Li, B., Zhang, Z.F., Wang, Z.G., Xu, J. & Zhu, Q. 2013. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of A390 alloy. *Advanced Materials Research* 652-654: 1049-1053.
- Li, K.M. & Liang, S.Y. 2005. Modeling of Cutting Temperature in Near Dry Machining. *J. Manuf. Sci. Eng* 128(2): 416-424.
- Meyers, M.A. & Chawla, K.K. 2009. *Mechanical Behaviours of Materials*. New York, USA.
- Nouari, M., List, G., Girot, F. & Coupard, D. 2003. Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys. *Wear* 255(7): 1359-1368.

- Nouari, M., List, G., Girot, F. & Gehin, D. 2005. Effect of machining parameters and coating on wear mechanisms in dry drilling of aluminium alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 45(12): 1436-1442.
- Rachmat, R.S., Bunname, N., Kamado, S. & Kojima, Y. 1998. Semi Solid Forming of A390 Hypereutectic Aluminum Alloy. *Proceeding of ICAA-6, Aluminum Alloy*: 291-296.
- Rivero, A., Aramendi, G., Herranz, S. & De Lacalle, L.N.L. 2006. An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on the dry drilling performance of aluminium alloys. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 28: 1-11.
- Sreejith, P. & Ngoi, B. 2000. Dry machining: machining of the future. *Journal of Materials Processing Technology* 101(1): 287-291.
- Shokrani, A., Dhokia, V. & Newman, S.T. 2012. Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 57: 83-101.
- Wang, Z. & Rajurkar, K.P. 2000. Cryogenic machining of hard-to-cut materials. *Wear* 239(2): 168-175.
- Yildiz, Y. & Nalbant, M. 2008. A review of Cryogenic Cooling in Machining Process. *Int. J. Mach tools Manuf* 48(9): 947-964.
- \*Kamal Othman  
Jabatan Teknologi Pengeluaran,  
German Malaysian Institute  
43000 Kajang, Selangor, Malaysia.
- Jaharah Abd Ghani  
Che Hassan Che Haron  
Afifah Juri  
Pusat Kejuruteraan Bahan dan Pembuatan Pintar (MERCU)  
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina  
Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia.
- Afifah Juri  
Dept. of Precision Engineering  
Graduate School of Engineering  
The University of Tokyo, Japan
- Mohd Shahir Kassim  
Fakulti Kejuruteraan Pembuatan,  
Universiti Teknikal Malaysia Melaka  
Durian Tunggal, Melaka, Malaysia.
- \*Corresponding author; e-mail: kamal@gmi.edu.my

Received date: 15<sup>th</sup> January 2018

Accepted date: 1<sup>st</sup> July 2018

Online First date: 1<sup>st</sup> September 2018

Published date: 31<sup>st</sup> October 2018